

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

Майсурадзе М.В., Ануфриев Н.П.

Руководитель – д.т.н., проф. Юдин Ю.В.

ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»

В последнее время нефтяная промышленность развивается ускоренными темпами. Условия эксплуатации труб нефтяного сортамента сложны и разнообразны, а открытие новых месторождений выдвигает задачи повышения не только статической и циклической прочности труб, но также хладостойкости, сопротивления хрупкому разрушению в различных агрессивных средах, сопутствующих нефти и газу.

Зачастую, после нормализации, как принято на большинстве предприятий – изготовителей, не достигается требуемая прочность труб. Поэтому увеличивают толщину стенки труб и возрастает масса буровой колонны в целом.

Повышения прочностных характеристик можно достичь за счет замены режима нормализации на более интенсивное охлаждение, например, путем применения водокапельных охлаждающих устройств. Создание одинаковых условий охлаждения по периметру трубы обеспечивается за счет симметричного и равномерного подвода охлаждающей водокапельной дисперсной среды к поверхности трубы.

Проведена оптимизация технологии термической обработки сварных соединений бурильных труб и конструкции разработанного закалочного устройства. В качестве варьируемых параметров выбраны: давление подаваемой воды, температура нагрева металла и количество форсунок в охлаждающем устройстве.

Образцы, подвергавшиеся закалке представляли собой сектор, вырезанный из трубы размером $\varnothing 140 \times 24$ мм из стали 25ХГМ. В ходе экспериментов технологические параметры изменяли в диапазоне: температура нагрева 920...960 °С, давление воды 170...230 кПа, количество форсунок в устройстве от 10 до 14 шт. Нагрев металла производили в электрической лабораторной печи до заданной температуры, затем фрагмент трубы переносили в охлаждающее устройство для проведения закалки. После закалки внутреннюю и наружную поверхности шлифовали с целью снятия обезуглероженного слоя и измеряли твердость в 25...30 точках по поверхности.

Получены аналитические зависимости твердости стали 25ХГМ и равномерности ее распределения по поверхности от параметров закалочного устройства и технологических факторов.

$$HRC = 0,17P_b + 0,98N_{\phi} + 0,28t_n - 273 \quad (1)$$

$$S_{HRC} = 0,036P_b - 0,06N_{\phi} + 0,029t_n - 28,6 \quad (2)$$

где P_v – давление воды, кПа.; N_ϕ – число форсунок в устройстве, шт; t_n – температура нагрева образца, °С.

Для уравнений (1) и (2) множественный коэффициент корреляции составляет 0,99 и 0,93 соответственно, а отношение табличного значения критерия Фишера к расчетному – 300 и 55, что говорит о достаточной адекватности полученных моделей.

Рис. 1. Распределение твердости после закалки сектора трубы из стали 25ХГМ: давление воды 170 кПа, количество форсунок - 14, температура нагрева 960°С

Анализ полученных зависимостей показал, что для получения более равномерного распределения твердости необходимо уменьшить температуру нагрева и давление воды, однако это приведет к значительному снижению твердости, тогда как увеличение количества форсунок приводит к положительному результату. Решив оптимизационную задачу, получили, что для достижения максимальной твердости при наиболее равномерном ее распределении оптимальными параметрами режима закалки являются: температура нагрева металла 960°С, давление воды 170 кПа. При этом количество форсунок в охлаждающем устройстве должно составлять не менее 14 шт. Проведенные расчеты подтверждены экспериментально. Средняя твердость стали 25ХГМ после закалки составила $39,0 \pm 2,0$ ед. HRC.

Отпуск при температуре 600°С в течение 15 минут привел к снижению средней твердости поверхности стали 25ХГМ до 24...26 HRC, что удовлетворяет требованиям, предъявляемым стандартами API 5D и ГОСТ 50278-92 в отношении прочности бурильных труб.

Рис. 2. Распределение твердости после закалки и отпуска (температура нагрева 600°С, время выдержки 15 мин) сектора трубы из стали 25ХГМ

На Таганрогском металлургическом заводе выполнены опытно-промышленные испытания разработанного закалочного устройства. Температура нагрева зоны сварного соединения в индукторе - 900 °С, время нагрева 6 мин. После закалки в водокапельном устройстве в течение 9 мин. и последующего отпуска в индукторе при температуре 650°С средняя твердость трубы из стали 25ХГМ составила 26...28 HRC, что соответствует группе прочности G-105 согласно стандарту API 5D.